# 不同物理形态开食料对犊牛生长发育、瘤胃发酵及血液指标的影响

杜 超[1,2] 甄玉国[1*] KERTZ A F[3] 沈旖帆[2] 卜登攀[2*]

（1.吉林农业大学动物科技学院，吉林省动物营养与饲料科学重点实验室，长春 130118；2.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养国家重点实验室，北京 100193；3.Andhil LLC,圣路易斯 63122，美国）

摘 要：本试验在湿热条件下，探究饲喂不同物理形态的开食料对犊牛生长发育、瘤胃发酵指标以及血液指标的影响。试验采用 36 头荷斯坦母犊牛，随机分为 3 组，每组 12 头，分别自由采食颗粒状开食料（PSA）、粉末状开食料（PSB）和多颗粒状开食料（TS）。试验期 63 d，其中 1~42 日龄为正常饲喂牛奶时期（断奶前期）；43~49 日龄为断奶期；50~63 日龄为断奶后期。在 1、42、49 以及 63 日龄晨饲前进行采血和称重，49 和 63 日龄晨饲前胃管法采集瘤胃液。试验期间每天记录采食量和温湿度指数。结果表明，在湿热环境下：1）断奶期和断奶后 2 周 TS 组开食料干物质采食量、平均日增重和重料比高于 PSA 和 PSB 组，PSB 组最低，但差异不显著（$P$>0.05）。2）TS 组犊牛初次反刍时间较 PSA 组提前 3.8 日龄，较 PSB 组提前 4.7 日龄，差异均显著（$P$<0.05）。63 日龄时，TS 组瘤胃液氨氮含量显著低于 PSA 组（$P$<0.05）。3）42 日龄时 PSA 组犊牛血液免疫球蛋白 G 含量显著高于 TS 组（$P$<0.05）。4）TS 组犊牛初始腹泻时间较 PSA 和 PSB 组分别晚 0.44 和 1.75 日龄，但无统计学差异（$P$>0.05），TS 组腹泻率最低。综合得出，湿热环境下，多颗粒状开食料较颗粒状开食料和粉末状开食料更能促进犊牛的生长发育，促进犊牛尽早产生反刍行为，促进了瘤胃功能的完善。

关键词：犊牛；开食料；反刍行为；采食量；温湿度指数；瘤胃发酵

中图分类号：S823

犊牛是牧场重要的后备资源，影响牧场的长远发展，犊牛的饲养管理是牧场重要工作，保证犊牛更快更健康的生长发育对牧场意义重大。3 月龄内，是由液体饲料（牛奶等）转为固体饲料的阶段，

---

收稿日期：2016-12-05

基金项目：“十二五”科技支撑计划(2012BAD12B02-5)；中国农业科学院科技创新工程（ASTIP-IAS07）；奶牛产业技术体系北京市创新团队(BAIC06-2017)

作者简介：**杜 超**（1991—），男，陕西西安人，硕士研究生，从事反刍动物营养研究。E-mail: duchao105@163.com

*通信作者：**甄玉国**，副教授，硕士生导师，E-mail: nickzhen@263.net；**卜登攀**，研究员，硕士生导师，E-mail: budengpan@126.com

此时也是犊牛瘤胃的快速发育时期[1]。犊牛 2~3 周龄阶段，因其获得性免疫的降低，常常会发生腹泻等疾病，1 月龄左右逐渐开始有反刍行为，是其瘤胃发育的重要转折点[2]。犊牛时期，开食料是促进瘤胃发育的直接诱因[3-4]。诸多学者研究了开食料的化学组成对犊牛生长发育的影响，如 Stamey 等[5]研究了开食料中不同蛋白质组分对犊牛生长发育的影响，发现饲喂 28%粗蛋白质水平的代乳粉较 20%粗蛋白质水平的代乳粉显著提高了 8 周龄犊牛体重；Santos 等[6]在开食料中添加香精油，发现其有替代抗生素的作用；张乃锋等[7]研究了植物蛋白质对犊牛腹泻的影响，发现代乳粉中植物蛋白质小于 50%时，有利于犊牛健康以及由母乳到代乳粉的过渡。开食料物理形态对犊牛生长发育的报道还较少，Bateman 等[8]发现当开食料中含有大量粉末时，会减少开食料采食量和犊牛日增重。且新近的研究表明犊牛开食料中添加的苜蓿草长度与瘤胃壁发育息息相关，蓿苜草含量为 12.5%长度为 3 mm 时提高了犊牛发育水平[9]，因此，越来越多的研究倾向于从开食料物理形态层面优化犊牛开食料。

Bach 等[10]研究发现多颗粒状开食料较颗粒状开食料拥有更高的采食量。Moeini 等[11]发现粉末状开食料和多颗粒状开食料较颗粒状饲料可促进犊牛的采食量，其中多颗粒状开食料饲料转化率最高，故开食料物理形态的差异对犊牛的影响不可忽视。温湿度对于犊牛的生长发育同样有很大影响。Tao 等[12]发现初生的犊牛在热应激下有不良反应，增加 1 月龄内的犊牛死亡率，也会减少犊牛的干物质采食量；Hill 等[13]研究发现，夏季高温条件下对犊牛岛采取降温措施对犊牛体增重影响显著。我国部分地区夏季温湿度指数（THI）过高，影响了犊牛正常摄食，严重者会造成热应激，甚至死亡。

目前，缺少不同物理形态的开食料对犊牛生长发育影响的资料，本试验以夏季湿热环境为背景，针对不同物理形态开食料对犊牛生长发育、瘤胃发酵和血液指标的影响开展相关试验，以期为开食料在犊牛饲养管理中的应用和开发提供数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

3 种试验用开食料（相同的饲料配方）：1）颗粒状开食料，经过常规的制粒加工而成的颗粒状开食料，颗粒直径 4.5 mm，其颗粒耐久度(pellet durability index，PDI)为 90.8%；2）粉末状开食料，饲料原材料经过粉碎，混合制得；3）多颗粒状开食料，由浓缩颗粒状开食料和经过粗粉碎的其他饲料原料进行混合，外部喷涂糖蜜制得，其中玉米的加工标准为 8 目上颗粒破碎玉米大于 80%，其他物料不

破碎。3 种开食料由北京正大饲料科技有限公司提供。

1.2 试验设计

本试验采用完全随机试验设计，以开食料的不同物理形态为试验处理，各组分别饲喂颗粒状开食料（PSA 组）、粉末状开食料（PSB）、多颗粒状开食料（TS）。

1.3 试验动物与饲粮

试验于北京市顺义区北京中地畜牧科技有限公司进行。选取 36 头体重[（40.50±2.64） kg]相近的荷斯坦母犊牛随机分为 3 组，每组 12 头，分别饲喂 3 种开食料。试验犊牛出生后 1 h 内灌服 4 L 初乳。之后安置于犊牛岛（单头单笼）。试验期 63 d。在 1~7 日龄内每天给犊牛饲喂 2 次常乳，每次 2 L；15~42 日龄每天饲喂 2 次常乳，每次 3 L，1~42 日龄为断奶前期；43~49 日龄（断奶期）每天饲喂 2 次常乳，每次 2 L，49 日龄断奶；50~63 日龄（断奶后期）继续按照试验处理饲喂开食料。试验期间自由饮水，开食料从犊牛 5 日龄开始自由采食。35 日龄犊牛去角。开食料组成及营养水平见表 1,开食料形态见图 1。

表 1 开食料组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of starters （DM basis） %

| 项目 Items | 组别 Groups | | | SEM | *P* 值 *P*-value |
|---|---|---|---|---|---|
| | PSA | PSB | TS | | |
| 原料 Ingredients | | | | | |
| 玉米 Corn[1)] | 30.0 | 30.0 | 30.0 | | |
| 燕麦 Oats[2)] | 10.0 | 10.0 | 10.0 | | |
| 糖蜜 Molasses | 5.0 | 5.0 | 5.0 | | |
| 玉米（粉碎） Corn (ground) | 10.0 | 10.0 | 10.0 | | |
| 大豆粕 Soybean meal | 25.0 | 25.0 | 25.0 | | |
| 棉籽粕 Cottonseed meal | 5.0 | 5.0 | 5.0 | | |
| 麦麸 Wheat bran | 10.0 | 10.0 | 10.0 | | |
| 预混料 Premix[3)] | 5.0 | 5.0 | 5.0 | | |
| 合计 Total | 100.0 | 100.0 | 100.0 | | |
| 营养水平 Nutrient level[4)] | | | | | |
| 干物质 DM | 88.89 | 88.21 | 88.95 | 0.068 | <0.000 1 |
| 粗蛋白质 CP | 21.03$^{a}$ | 21.07$^{a}$ | 19.66$^{b}$ | 0.259 | 0.001 1 |
| 粗脂肪 EE | 1.43 | 1.89 | 1.39 | 0.165 | 0.112 6 |
| 中性洗涤纤维 NDF | 29.88 | 29.06 | 31.11 | 1.690 | 0.667 8 |
| 酸性洗涤纤维 ADF | 5.47$^{b}$ | 6.12$^{a}$ | 5.54$^{ab}$ | 0.159 | 0.017 9 |

[1)]多颗粒状开食料中玉米仅经过破碎处理。Corn in TS was only crushed.

2)多颗粒状开食料中燕麦为完整颗粒。Oat in TS was whole grain.

3)

4) 营养水平为实测值（*n*=8）。3 种开食料的配方相同，但是实测值有差异，可能是由于在采样过程中，饲料物理形态不同，造成饲料分级，导致了采样误差。同行无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著($P>0.05$)，不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。Nutrient levels were measured values （*n*=8）. Composition of three starters were the same, while there was difference in measured values of nutrient levels, the reason of which might be the occurrence of sampling error from feed classification during sampling, as a result of differences in physical forms. In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

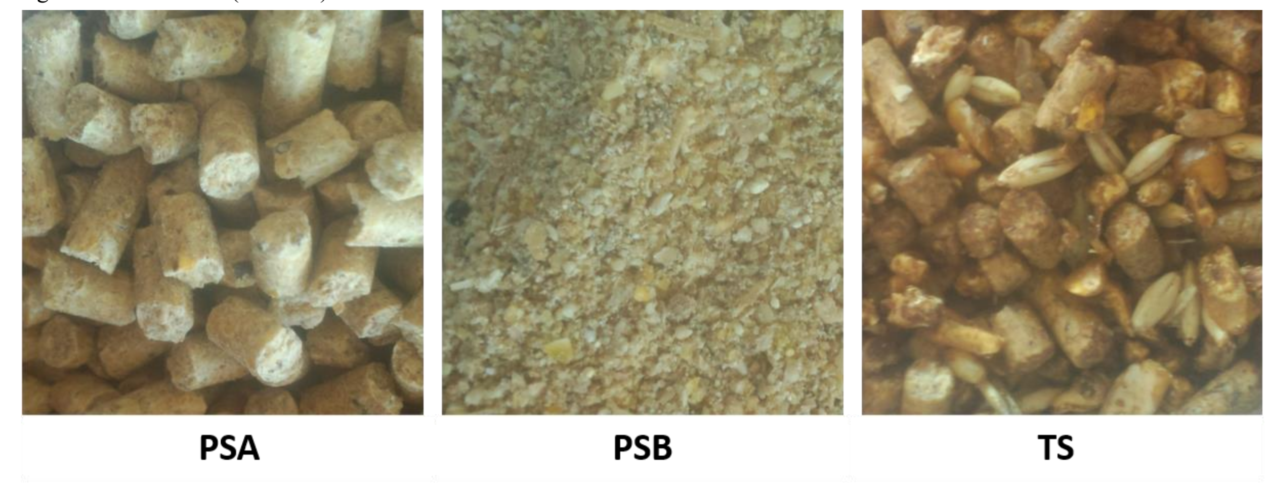



图 1 3 种不同物理形态的开食料

Fig.1 Three different physical forms of starter

1.4 测定指标和方法

1.4.1 THI

在试验犊牛 36 个栏位中随机选取 3 个试验犊牛栏位安置自动记录温湿度仪[DSR-TH,佐格微系统(杭州)有限公司]，设置每 15 min 记录 1 次温度和湿度。每天可以记录 96 组数据，根据下列公式计算 THI：

THI=[0.8×环境温度(℃)]+{[相对湿度（%）/100]×[环境温度(℃)-14.4]}+46.4[14]。

1.4.2 生长性能

分别于犊牛 1、42、49 以及 63 日龄晨饲前称重。试验开始后，每天记录每头犊牛的开食料饲喂量和剩料量，计算开食料干物质采食量。记录牛奶干物质采食量，根据以下公式计算重料比：

重料比=平均日增重/牛奶和开食料干物质采食量。

1.4.3 瘤胃液采集与测定

分别于犊牛 42、49 以及 63 日龄晨饲前，采用胃管法采集瘤胃液，并立即测定其 pH，然后经 4 层无菌纱布过滤后分装至 2 mL 离心管中，于-20 ℃保存，用于测定挥发性脂肪酸（VFA）浓度和氨氮（$NH_3$-N）含量[15-16]。

1.4.4 血液样品采集与测定

分别于犊 1、42、49 以及 63 日龄晨饲前颈静脉采血 20 mL，3 000×*g* 离心 10 min，收集血清分装于 2 mL 离心管中，-20 ℃下冻存待测。样品在北京市海淀医院检验科生化室用全自动生化分析仪（奥林巴斯 Au–600，日本）测定。

1.4.5 犊牛反刍时间统计

参照 Hosseini 等[17]文献中采用的直接观察法，于每天早晨饲喂开食料之后立刻观察试验犊牛，时长 1 h（07:30—08:30），记录反刍行为。

1.4.6 犊牛腹泻记录

于每天 07:00 和 15:00 观察试验犊牛，记录其是否腹泻。参照王建红等[18]文献中采用的 5 分制粪便评分法，以评分≥3 记为 1 次腹泻。根据下列公式计算腹泻率：

腹泻率（%）=100×[腹泻头次数/(犊牛头数×试验天数)]。

1.5 统计分析方法

数据以平均值和标准误形式表示。数据分析应用 SAS 9.4 统计分析软件中关于重复测量数据的 MIXED 模型进行分析，$P$<0.05 为差异显著，模型如下[19]：

$$Y_{ijk}=\mu+T_i+W_j+TW_{ij}+C(T)_{ik}+\varepsilon_{ijk}。$$

式中：$T$ 为处理（i=1，2,3），固定效应；$W$ 为周龄（j=1，2,3...9），固定效应；$C$ 为犊牛（$k$=1,2,3...25），随机效应；$\varepsilon$ 为残差。

2 结果与分析

2.1 湿热环境

由图 1 可知，整个试验期从第 1 头犊牛进入试验到最后 1 头犊牛进入试验用时 19 d，最后 1 头犊牛试验期为 63 d，试验时间跨度共计 82 d。试验期间，全期日平均 THI 有 61.0%以上高于 72。全期日最高 THI 有 96.3%的天数超过 72。

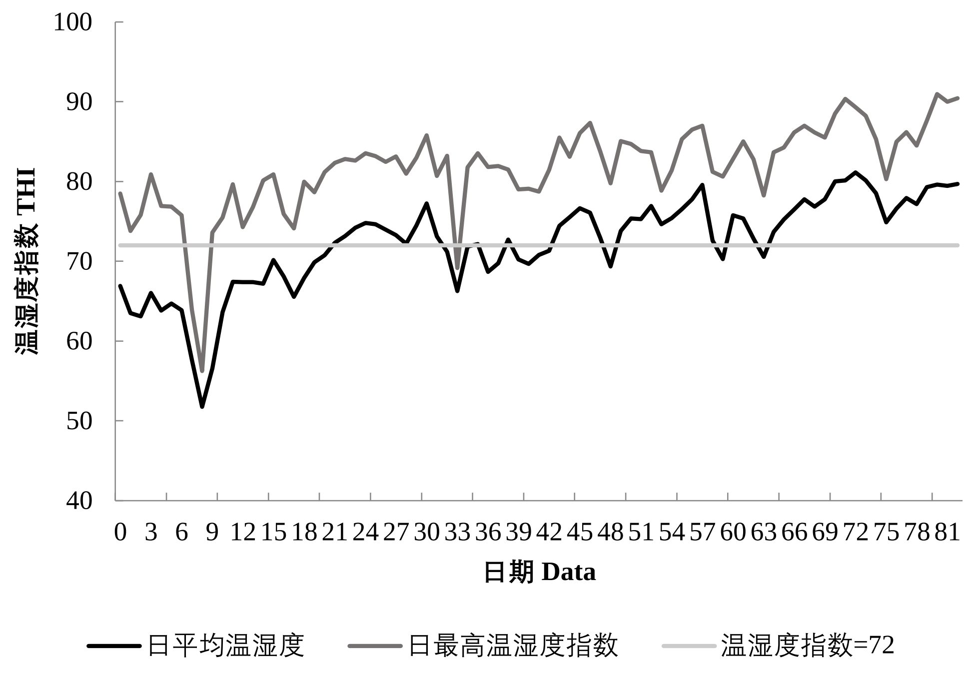



图 2 试验期间犊牛岛温湿度指数变化

Fig.2 THI change in calf island during experiment

2.2 不同物理形态开食料对犊牛平均日增重、采食量和重料比的影响

由表 2 可知,断奶前期（1~42 日龄），3 组间开食料采食量、日增重和重料比无显著差异（*P*>0.05）。断奶期（43~49 日龄）以及断奶后期（50~63 日龄），TS 组开食料采食量、日增重和重料比高于 PSA 和 PSB 组，PSB 组最低，但差异均不显著（*P*>0.05）。从整个试验期来看，TS 组较 PSA 和 PSB 组有更高的日增重和重料比，但差异不显著（*P*>0.05），PSB 组日增重最低。

表 2 不同物理形态开食料对犊牛生长发育的影响

Table 2 Effects of different physical forms of starters on growth performance of calves

| 项目 Items | 组别 Groups | | | SEM | *P* 值 *P*-value | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PSA | PSB | TS | | 组别 Group | 周龄 Weeks of age | 组别×周龄 Group×week of age |
| 初生重 Initial BW/kg | 40.35 | 40.59 | 40.55 | 0.785 | 0.973 3 | | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 末重 Final BW/kg | 75.55 | 74.38 | 77.38 | 1.515 | 0.396 4 | | |
| 断奶前期(1~42 日龄) Pre-weaning period （1 to 42 days of age） | | | | | | | |
| 平均日增重 ADG/(kg/d) | 0.50 | 0.51 | 0.51 | 0.020 | 0.904 1 | | |
| 牛奶干物质采食量 Milk DM intake/(kg/d) | 0.70 | 0.70 | 0.70 | | | | |
| 开食料干物质采食量 Starter DM intake/(kg/d) | 0.15 | 0.14 | 0.15 | 0.018 | 0.946 2 | <0.000 1 | 0.431 0 |
| 牛奶和开食料干物质采食量 Milk and starter DM intake/(kg/d) | 0.85 | 0.84 | 0.85 | 0.018 | 0.946 2 | <0.000 1 | 0.431 0 |
| 重料比 Gain-to-feed ratio | 0.59 | 0.60 | 0.60 | 0.022 | 0.840 6 | | |
| 断奶期（43~49 日龄） Weaning period （43 to 49 days of age） | | | | | | | |
| 平均日增重 ADG/(kg/d) | 0.56 | 0.44 | 0.67 | 0.073 | 0.079 7 | | |
| 牛奶干物质采食量 Milk DM intake/(kg/d) | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | | | |
| 开食料干物质采食量 Starter DM intake/(kg/d) | 0.61 | 0.46 | 0.67 | 0.065 | 0.082 2 | | |
| 牛奶和开食料干物质采食量 Milk and starter DM intake/(kg/d) | 1.10 | 0.96 | 1.16 | 0.065 | 0.090 0 | | |
| 重料比 Gain-to-feed ratio | 0.51 | 0.45 | 0.57 | 0.055 | 0.329 9 | | |
| 断奶后期（50~63 日龄） Post-weaning period （50 to 63 days of age） | | | | | | | |
| 平均日增重 ADG/(kg/d) | 0.73 | 0.68 | 0.76 | 0.057 | 0.597 6 | | |
| 开食料干物质采食量 Starter DM intake/(kg/d) | 1.49 | 1.38 | 1.46 | 0.078 | 0.586 2 | <0.000 1 | 0.792 5 |
| 重料比 Gain-to-feed ratio | 0.49 | 0.48 | 0.53 | 0.317 | 0.554 6 | | |
| 全期（1~63 日龄） Whole period (1 to 63 days of age) | | | | | | | |
| 重料比 Gain-to-feed ratio | 0.55 | 0.55 | 0.57 | 0.015 | 0.465 8 | | |
| 平均日增重 ADG/(kg/d) | 0.56 | 0.54 | 0.59 | 0.023 | 0.362 3 | | |

## 2.3 不同物理形态开食料对犊牛瘤胃发酵指标的影响

由表 3 可知，TS 组的犊牛初次反刍时间显著早于 PSA 和 PSB 组（$P$<0.05），较 PSB 组早 4.7 日龄，较 PSA 组早 3.8 日龄。49 和 63 日龄测得的瘤胃液 pH 各组间差异不显著（$P$>0.05）。在 49 日龄，各组瘤胃液氨氮含量差异不显著（$P$>0.05），但在 63 日龄，PSA 组犊牛的瘤胃液氨氮含量显著高于 TS 组（$P$<0.05）。49 日龄总挥发性脂肪酸浓度在数值上呈 PSA 组<PSB 组<TS 组，但 63 日龄时，总挥发性脂肪酸浓度呈 PSA 组>PSB 组>TS 组，各组间差异均不显著（$P$>0.05）。49 日龄时，PSB 组瘤胃液丁酸和异丁酸含量在数值上高于 PSA 和 TS 组，但差异不显著（$P$>0.05）。

表 3 不同物理形态开食料对犊牛瘤胃发酵指标的影响

Table 3 Effects of different physical forms of starters on rumen fermentation parameters of calves

| 项目 Items | 日龄 Days of age | 组别 Groups | | | SEM | $P$ 值 $P$-value |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PSA | PSB | TS | | |
| 初次反刍时间 First rumination time/日龄 | | 21.00$^{ab}$ | 21.91$^{a}$ | 17.20$^{b}$ | 1.269 | 0.039 1 |
| 瘤胃液 pH Rumen fluid pH | 49 | 5.70 | 5.85 | 5.84 | 0.144 | 0.723 2 |
| | 63 | 5.72 | 5.47 | 5.57 | 0.105 | 0.237 4 |
| 氨氮 $NH_3$-N/(mg/dL) | 49 | 17.05 | 20.63 | 21.47 | 2.398 | 0.383 6 |
| | 63 | 26.85$^{a}$ | 24.38$^{ab}$ | 19.07$^{b}$ | 1.635 | 0.008 0 |
| 总挥发性脂肪酸 Total VFA/(mmol/L) | 49 | 85.52 | 87.02 | 87.89 | 7.001 | 0.970 8 |
| | 63 | 85.44 | 82.21 | 81.12 | 6.379 | 0.880 6 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 乙酸 Acetate/% | 49 | 40.84 | 42.40 | 42.66 | 3.154 | 0.905 0 |
| | 63 | 38.00 | 35.27 | 36.20 | 2.894 | 0.780 9 |
| 丙酸 Propionate/% | 49 | 34.16 | 31.93 | 34.56 | 3.169 | 0.822 2 |
| | 63 | 36.14 | 34.12 | 34.25 | 2.791 | 0.840 7 |
| 丁酸 Butyrate/% | 49 | 6.52 | 8.70 | 6.76 | 1.025 | 0.265 5 |
| | 63 | 6.88 | 8.49 | 6.94 | 0.986 | 0.424 6 |
| 异丁酸 Isobutyrate/% | 49 | 0.53 | 0.76 | 0.65 | 0.072 | 0.085 8 |
| | 63 | 0.83 | 0.86 | 0.72 | 0.084 | 0.536 8 |
| 戊酸 Valerate/% | 49 | 2.83 | 2.26 | 2.49 | 0.332 | 0.477 4 |
| | 63 | 2.56 | 2.41 | 2.10 | 0.223 | 0.364 6 |
| 异戊酸 Isovalerate/% | 49 | 0.64 | 0.95 | 0.78 | 0.106 | 0.114 8 |
| | 63 | 1.04 | 1.06 | 0.90 | 0.104 | 0.544 3 |
| 乙酸/丙酸 Acetate:propionate | 49 | 1.23 | 1.41 | 1.26 | 0.065 | 0.121 5 |
| | 63 | 1.05 | 1.05 | 1.07 | 0.039 | 0.923 9 |

2.4 不同物理形态开食料对犊牛血液指标的影响

由表 4 可知，血液中葡萄糖含量 1 日龄时最高，之后降低，42、49 和 63 日龄测得的含量较稳定。42 日龄时 PSA 组拥有最高的血液免疫球蛋白 G(IgG)含量，显著高于 TS 组（$P<0.05$）。3 个试验组试验期间血液生长激素和胰岛素含量无显著差异（$P>0.05$）。

表 4 不同物理形态开食料对犊牛血液指标的影响

Table 4 Effects of different physical forms of starters on blood parameters of calves

| 项目 Items | 日龄 Days of age | 组别 Groups | | | SEM | *P* 值 *P*-value |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PSA | PSB | TS | | |
| 葡萄糖 GLU/(mmol/L) | 1 | 6.65 | 7.57 | 7.00 | 0.365 | 0.212 3 |
| | 42 | 5.09 | 5.25 | 5.24 | 0.138 | 0.633 3 |
| | 49 | 5.07 | 5.10 | 5.04 | 0.179 | 0.978 9 |
| | 63 | 5.31 | 5.05 | 5.10 | 0.147 | 0.401 6 |
| 免疫球蛋白 G IgG/(μg/mL) | 1 | 85.38 | 83.29 | 84.95 | 5.538 | 0.961 2 |
| | 42 | 90.26[a] | 86.29[ab] | 71.21[b] | 4.835 | 0.023 9 |
| | 49 | 71.65 | 83.58 | 78.42 | 4.894 | 0.224 4 |
| | 63 | 79.98 | 86.15 | 85.30 | 5.545 | 0.687 1 |
| 生长激素 GH/(μg/L) | 1 | 41.75 | 39.15 | 38.12 | 3.155 | 0.713 1 |
| | 42 | 40.55 | 41.83 | 10.57 | 2.086 | 0.883 8 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 49 | 39.14 | 37.71 | 39.26 | 2.747 | 0.906 8 |
| | 63 | 37.83 | 37.15 | 35.88 | 2.310 | 0.835 7 |
| 胰岛素 INS/(mIU/L) | 1 | 43.36 | 51.97 | 42.85 | 3.291 | 0.108 5 |
| | 42 | 44.49 | 41.52 | 46.68 | 3.098 | 0.515 9 |
| | 49 | 48.78 | 43.28 | 43.13 | 2.845 | 0.277 3 |
| | 63 | 52.78 | 42.67 | 46.87 | 3.133 | 0.090 4 |

## 2.5 不同物理形态开食料对犊牛腹泻日龄分布的影响

由图 3 可知，PSA 组犊牛腹泻日龄分布最为集中。TS 组在 40、59 日龄各有 1 头试验牛只显现出腹泻症状。由表 5 可知，TS 组犊牛初始腹泻时间较 PSA 和 PSB 组分别晚 0.44 和 1.75 日龄，但无统计学差异（*P*>0.05）。TS 组的犊牛腹泻率最低，但各组间无显著差异（*P*>0.05）。

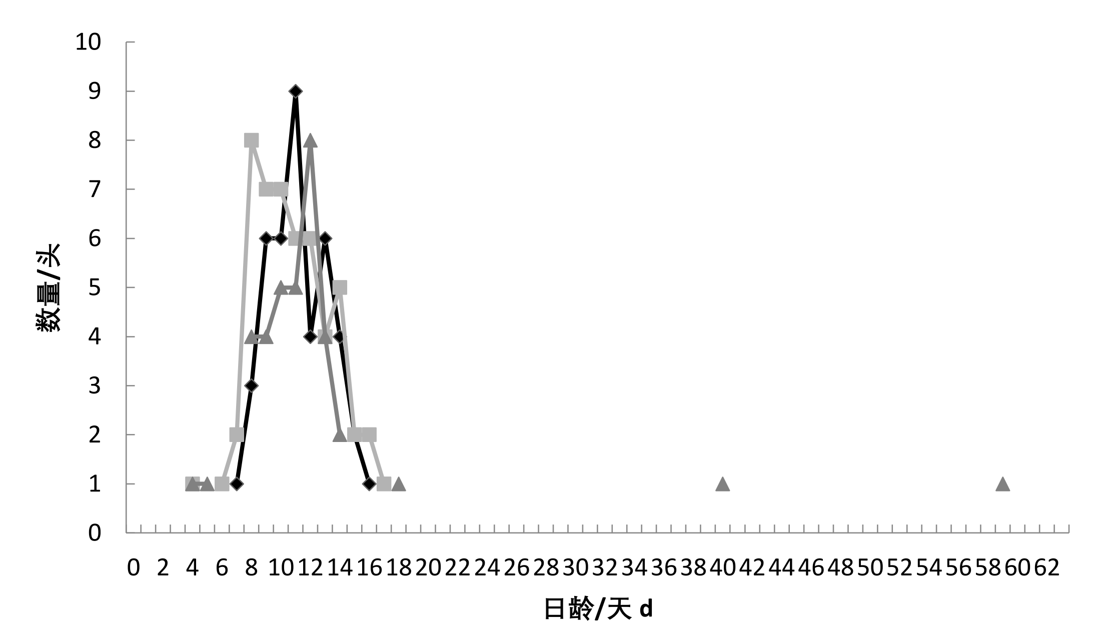



图 3 犊牛腹泻日龄分布

Fig.3 Distribution of age and number of calves with diarrhea

表 5 不同物理形态开食料对犊牛初次腹泻日龄的影响

Table 5 Effects of different physical forms of starter on age of calves get diarrhea

| 项目 Items | 组别 Groups | SEM | *P* 值 *P*-value |
|---|---|---|---|

| | PSA | PSB | TS | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 初次腹泻时间 First diarrhea time/日龄 | 10.31 | 9.00 | 10.75 | 0.721 | 0.233 9 |
| 腹泻率 Diarrhea rate/% | 5.60 | 6.90 | 4.90 | | |

## 3 讨 论

温湿度指数是将温度和湿度综合起来评价炎热程度的指标，试验期间，昼夜温差大，试验全期日最高 THI 有 79%的天数 THI 指数≥72，且个别牛只出现拒绝饮奶，站立困难等症状，在阴凉处可缓解。关于犊牛热应激的报道较少，故采用成年牛热应激的标准，即 THI≥72[20]，据此，可以判定试验处于湿热环境。

犊牛开食料干物质采食量、平均日增重与重料比在断奶前，在各组之间无显著差异，是因为该期段犊牛主要的能量物质来源于牛奶，每天的牛奶定量饲喂的，开食料干物质采食量较低，故没有对总的干物质采食量造成较大影响，平均日增重和重料比在各组之间没有差异。在断奶的 1 周时间内，牛奶饲喂量减少，犊牛对于能量的需求迫使其对开食料的摄入量迅速增加。开食料干物质采食量和平均日增重呈 TS 组>PSA 组>PSB 组，但差异不显著。在断奶后期开食料干物质采食量进一步上升，PSA 组较 TS 和 PSB 组高，但 TS 组拥有更高的重料比。说明在断奶后期，TS 组较 PSA 和 PSB 组更适宜犊牛的生长发育，这可能是 TS 中包含较大粒径的玉米和全颗粒的大麦，可以促进犊牛反刍，完善瘤胃功能，使瘤胃发育更为完善，所以在断奶后期，对开食料的采食量更高，重料比更高。综合看，在断奶及断奶后 2 周期间，TS 对于干物质采食量及重料比有一定提高效果，但差异不显著。

犊牛反刍行为的出现，表明瘤胃功能开始完善，是瘤胃发育最直观的指标，TS 组较 PSA 和 PSB 组更能促使犊牛更早地产生反刍行为，说明了 TS 组对犊牛瘤胃发育的促进作用。瘤胃的发育需要一定硬度的饲料颗粒的刺激[3]，瘤胃壁在多颗粒状开食料的摩擦刺激下，更易去角质化，早期摄入的精料和粗料在瘤胃内进行发酵，产生挥发性脂肪酸进一步促进瘤胃乳头的发育[21]，促进瘤胃功能的完善，因此 TS 组犊牛初次反刍时间早于 PSA 和 PSB 组。试验测得的瘤胃液 pH 在合理范围之内，TS 和 PSA 组瘤胃液 pH 在断奶前后的差别不大。PSB 组瘤胃液 pH 在断奶后期降低较多，从采食量数据可知，PSB 组断奶前期开食料占总干物质采食量比例较低，断奶后期开食料干物质采食量上升后，瘤胃内发酵水平短时间内提升，产生的有机酸降低了瘤胃液 pH。TS 组 42 日龄时瘤胃液氨氮含量较 PSA 和 PSB 组更高，可能是 TS 组瘤胃发育好，微生物区系建立的相对完善，在能量充足的情况下对氮的利

用率高，且 TS 组重料比较 PSA 和 PSB 组高，说明饲料转化率更高，相互印证。

IgG 在体液免疫应答中发挥着重要的角色，是评价动物免疫能力的隐性指标。42 日龄，TS 组血液 IgG 含量最低，可能是由于 TS 组饲料外部喷涂糖蜜，吸引较多苍蝇，苍蝇传播的细菌通过直接作用或者间接产生毒素，进入机体后结合并消耗 IgG，降低了血液 IgG 含量。因而造成 TS 组没有显现出较高的促进生长发育的作用。

腹泻是影响犊牛生长发育的重要原因之一。本试验中，犊牛腹泻多发生在 3 周龄，试验犊牛 36 头中只有 2 头未发现腹泻情况。可知腹泻几乎是犊牛生长必须面临的阶段。这可能是犊牛消化器官功能的完善时期。正是瘤胃发育初期，开始发挥其发酵的功能，但发酵的环境，如 pH 等不完善，以及瘤胃自身调节功能的不完善，导致发酵产物不能被后部肠道利用，或对功能并不完善的后部肠道造成刺激，影响了对营养物质的吸收，从而导致腹泻的发生。在饲喂 3 种开食料时犊牛腹泻情况随日龄的分布可知，PSB 组的犊牛较 TS 早 1.75 日龄进入腹泻阶段，PSB 组开食料是粉末状的，容易造成糊口现象，糊口现象的更深层次可能是消化道内也有食糜弥散分布，尤其是瘤胃内，可能会造成犊牛消化器官对牛奶和食糜的错误识别[22]，影响食管沟的闭合，造成不良发酵，导致腹泻。在腹泻分布后期，TS 组比 PSB 组提前约 3 日龄结束腹泻现象，这可能是由于 TS 组开食料中粗粉的玉米和全颗粒的燕麦更适宜犊牛瘤胃的初步发育，犊牛更易渡过早期瘤胃发育阶段。试验中，在这一阶段之后，TS 组在 40 和 59 日龄分别有 1 只犊牛腹泻，与之吻合的是，试验在夏季开展，有很多苍蝇，TS 组因其外部喷涂糖蜜，吸引了更多的苍蝇。可以推断，是这些苍蝇传播的细菌或者细菌产生的毒素造成了 2 头犊牛的非营养性腹泻[23]，而 PSA 和 PSB 组中的糖蜜和饲料颗粒混合更加均匀，表面无可见糖蜜，吸引的苍蝇数量较少。

## 4 结 论

湿热环境下，多颗粒状开食料较颗粒状开食料和粉末状开食料更能促进犊牛的生长发育，促进犊牛尽早产生反刍行为，促进了瘤胃功能的完善。

参考文献：

[1] 张海涛,王加启,卜登攀,等.影响犊牛瘤胃发育的因素研究[J].乳业科学与技术,2008,31(2):86–89.

[2] 李伟,苗树君,曲永利.饲料性质对犊牛瘤胃发育及其消化机能的影响[J].草食家畜,2004(4):50–53.

[3] 刘景喜,陈龙宾,潘振亮,等.不同颗粒开食料对早期断奶犊牛瘤胃发育及生长性能的影响[J].中国奶牛,2012(17):12–15.

[4] 陈龙宾,潘振亮,刘景喜,等.开食料促进早期断奶犊牛瘤胃发育的研究[J].饲料研究,2012(9):10–12.

[5] STAMEY J A,JANOVICK N A,KERTZ A F,et al.Influence of starter protein content on growth of dairy calves in an enhanced early nutrition program[J].Journal of Dairy Science,2012,95(6):3327–3336.

[6] SANTOS F H R,DE PAULA M R,LEZIER D,et al.Essential oils for dairy calves:effects on performance,scours,rumen fermentation and intestinal fauna[J].Animal,2015,9(6):958–965.

[7] 张乃锋,刁其玉,李辉.植物蛋白对 6—11 日龄犊牛腹泻与血液指标的影响[J].中国农业科学,2010,43(19):4094–4100.

[8] BATEMAN H G Ⅱ,HILL T M,ALDRICH J M,et al.Effects of corn processing,particle size,and diet form on performance of calves in bedded pens[J].Journal of Dairy Science,2009,92(2):782–789.

[9] NEMATI M,AMANLOU H,KHORVASH M,et al.Rumen fermentation,blood metabolites,and growth performance of calves during transition from liquid to solid feed:effects of dietary level and particle size of alfalfa hay[J].Journal of Dairy Science,2015,98(10):7131–7141.

[10] BACH A,GIMÉNEZ A,JUARISTI J L,et al.Effects of physical form of a starter for dairy replacement calves on feed intake and performance[J].Journal of Dairy Science,2007,90(6):3028–3033.

[11] MOEINI H,MAHDAVI A H,RIASI A,et al.Effects of physical form of starter and forage provision to young calves on blood metabolites,liver composition and intestinal morphology[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2016,doi: 10.1111/jpn.12485.

[12] TAO S,DAHL G E,BERNARD J K.Impacts of heat stress on cow and calf[C]//ADSA-ASAS-CSAS joint annual meeting.Kansas City,MO:[s.n.],2014.

[13] HILL T M,BATEMAN H G Ⅱ,ALDRICH J M,et al.Comparisons of housing,bedding,and cooling options for dairy calves[J].Journal of Dairy Science,2011,94(4):2138–2146.

[14] MADER T L,DAVIS M S,BROWN-BRANDL T.Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle[J].Journal of Animal Science,2006,84(3):712–719.

[15] ERWIN E S,MARCO G J,EMERY E M.Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatography[J].Journal of Dairy Science,1961,44(9):1768–1771.

[16] 袁章琴,谭支良,沈辰辰.烷基多糖苷添加水平对山羊瘤胃发酵特性的影响[J].动物营养学报,2009,21(6):872–877.

[17] HOSSEINI S M,GHORBANI G R,REZAMAND P,et al.Determining optimum age of Holstein dairy calves when adding chopped alfalfa hay to meal starter diets based on measures of growth and performance[J].Animal,2016,10(4):607–615.

[18] 王建红,刁其玉,许先查,等.赖氨酸、蛋氨酸和苏氨酸对犊牛生长性能和血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2011,23(2):226–233.

[19] 符运勤,刁其玉,屠焰,等.不同组合益生菌对 0~8 周龄犊牛生长性能及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2012,24(4):753–761.

[20] 李明振,张瑞华,张克春,等.夏季气候因素对荷斯坦犊牛生长性能的影响及应对措施[J].中国奶牛,2015(7):10–13.

[21] TAMATE H,MCGILLIARD A D,JACOBSON N L,et al.Effect of various dietaries on the anatomical development of the stomach in the calf[J].Journal of Dairy Science,1962,45(3):408–420.

[22] 陈传强.犊牛的生理特点与饲养管理[J].养殖技术顾问,2011(5):30.

[23] 荔霞,王胜义,刘永明,等.犊牛腹泻病因及其药物防治研究进展[J].中国畜牧兽医,2010,37(10):161–165.

## Effects of Starters in Different Physical Forms on Growth and Development, Rumen Fermentation and Blood Parameters of Dairy Calves

DU Chao[1,2]  ZHEN Yuguo[1*]  KERTZ A F[3]  SHEN Yifan[2]  BU Dengpan[2*]

（1. *College of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun* 130118, *China;* 2. *State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193, *China;* 3. *ANDHIL LLC, St. Louis* 63122, *USA*）

Abstract: The objective of this study was to determine whether the physical forms of starters could influence

*Corresponding authors: ZHEN Yuguo, associate professor, E-mail: nickzhen@263.net； BU Dengpan, professor， E-mail: budengpan@126.com (责任编辑 王智航)

growth and development, rumen fermentation and blood parameters of dairy calves under hygrothermal environment. Thirty-six Holstein female calves were randomly assigned to 1 of 3 groups with following starters differing in physical forms: pelleted starter (PSA group, $n=12$), fine powder starter (PSB group, $n=12$) and texturized starter (TS group, $n=12$). The whole experiment lasted for 63 days with a 42-d milk feeding period （pre-weaning period）, a 6-day weaning period and a 14-d post-weaning period. All calves were fed 4 L colostrum within 1 h after birth and housed in individual hunches. At 1, 42, 49 and 63 days of age before morning feeding, blood sample was collected, and body weight was measured; at 49 and 63 days of age before morning feeding, rumen fluid was collected by the method of gastric canal. The results showed that under hygrothermal environment: 1) at weaning period and after being fully weaned for 2 weeks, TS group had higher start dry matter intake, average daily gain and gain-to-feed ratio than PSA and PSB groups, and PSB had the lowest values, but the differences were not significant ($P>0.05$). 2) Calves in TS group exhibited rumination behavior 3.8 days earlier than those in PSB group and 4.7 days earlier than those in PSA group ($P<0.05$). TS group had a significantly lower ammonia nitrogen content than PSA group at 63 days of age （$P>0.05$）. 3) PSA group had significantly higher immunoglobulin G content than TS group at 42 days of age（$P<0.05$）. 4) The initial diarrhea time of PSA and TS groups showed 0.44 and 1.75 days later than PSA and PSB groups, but there was no significant difference （$P>0.05$）. It is concluded that under hygrothermal environment, compared with pelleted starter and fine powder starter, texturized starter can promote calf growth and development, early exhibition of rumination behavior, and complete of rumen function.

Key words: calves; starter; rumination; intake; temperature-humidity index; rumen fermentation